

第三章 全球氣候變遷 Climate System and Global Change

摘自 水環系 江旭程

含課本重點整理，惟仍應研讀課本之詳細內容

Outline

- Climate system– An introduction
- Is climate change real?
- What changes climate?
- Why should we care?
- What can we do?

全球變遷，真有其事？

證據(一)：全球溫度上升

證據(二)：海水面上升

證據(三)：積雪和海冰面積減少

為什麼氣候會變化？

What changes climate?

- 自然因素
 - 太陽輻射變化
 - 地球太陽關係
 - 地球內部系統變化
 - 火山爆發
- 人為因素
 - 溫室氣體影響
 - 長生命期: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆
 - 短生命期: H₂O, O₃
 - 氣膠影響
 - 散射光線氣膠: 硫酸鹽硝酸鹽等, 降溫
 - 吸收光線氣膠: 黑炭沙塵等, 可能升溫
 - 土地改變

Long-lived Greenhouse Gas

- The Kyoto Protocol, the international climate change agreement, lists six greenhouse gases (or groups of gases) whose emissions signatories to the Protocol agree to reduce.
 - carbon dioxide (CO₂)
 - methane (CH₄)
 - nitrous oxide (N₂O)
 - sulphur hexafluoride (SF₆)
 - hydrofluorocarbons (HFCs)
 - perfluorocarbons (PFCs)

Short-lived greenhouse gas

- Water vapor
 - Troposphere water vapor is the most potent and abundant greenhouse gas in Earth's atmosphere. However, its concentration is controlled primarily by the rate of evaporation from the oceans and transpiration from plants, rather than by human activities, and water vapor molecules only remain in the atmosphere for a few days on average. Thus, changes in water vapor are considered a feedback that amplifies the warming induced by other climate forcings.
 - Stratosphere: Oxidation of CH₄ can increase the water vapor in stratosphere.
- O₃
 - Troposphere: photochemical smog
 - Stratosphere: ozone layer depletion

Ozone in the Stratosphere

平流層的臭氧可阻擋有害的紫外線(UV)，保護地球上的生物，是好的臭氧。

對流層(地面附近)的臭氧是光化學煙霧的重要成份，是壞的臭氧。

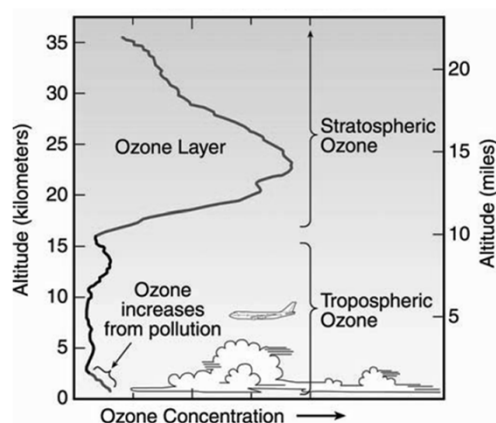


Figure source: Synthesis and Assessment Product 2.4, Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research

Aerosols (氣膠)

- **Most aerosols** (airborne particles and droplets), such as sulfate (SO₄), cool the planet by **reflecting sunlight** back to space. Some aerosols also cool the Earth indirectly by increasing the amount of sunlight reflected by **clouds**. Human activities, such as industrial processes, produce many different kinds of aerosols. The total cooling that these aerosols produce is one of the greatest remaining uncertainties in understanding present and future climate change.
- **Black carbon particles or “soot,”** produced when fossil fuels or vegetation are burned, generally have a warming effect because they absorb incoming solar radiation. Black carbon particles settling on snow or ice are a particularly potent warmer.

Deforestation and Land use changes

- Deforestation and other changes in land use can change the surface albedo and modify the amount of sunlight reflected back to space from the Earth's surface.
- Changes in land use can lead to positive and negative climate forcing locally, but the net global effect of albedo change is a slight cooling.

Feedback (回饋)

- 全球暖化產生後，會引發氣候系統一連串的后續作用，這就是所謂的回饋(feedback)，氣候變遷的回饋會朝兩個方向運作，正回饋讓暖化更加強，負回饋則降低暖化。
- 全球平均溫度升高，促使海水蒸發加快，大氣中水汽含量增加，水蒸氣是溫室氣體，所以這是一個的正回饋，另一方面，水氣增加後會導致雲層變多，減少到達地表的太陽輻射，可以降低溫度，是一個負回饋，這兩種回饋那種會佔優勢仍然是個爭議的問題。
- 極地海冰融化，會降低反照率，海面會吸收更多能量，造成更多海冰融化，這完全是正回饋，會增強高緯度地區的暖化。
- 暖化會降低陸地和海洋對大氣中CO₂的吸收，因此會增加駐留在大氣中的CO₂濃度，這也是正回饋。

全球暖化是人為活動所造成的？

為什麼我們要關心這問題？

未來溫度上升的預測

未來海平面上升的預測

淡水資源及其管理

- 在高緯度和部分熱帶潮濕地區年平均河流逕流量和可用水量會增加。
- 在某些中緯度和熱帶乾燥地區，逕流量和可用水量會減少，受乾旱影響的地區可能會增加。
- 強降水事件發生頻率可能增加，因此將增加洪水的風險。
- 冰川中和積雪中儲藏的水量會下降，高山融雪的時間會提前，因此會減少靠山區融水供給的地區可用水量。
- 海水位上升，不但容易淹水，也會造成海水入侵，影響地下水使用。
- 溫度上升，水中溶氧會減少，可能造成水質惡化。

生態系統

- 生態系統會隨氣候變遷而逐漸調整。
- 二十一世紀氣候變遷及其產生的擾動(如洪水、乾旱、野火、蟲害、海水酸化)，再加上人為的驅動因數(如土地利用變化、污染、資源過度開採)，可能會超過許多生態系統的適應範圍。
- 全球暖化會影響生態系統的結構和功能、物種的相互作用、物種的地理分佈等，並在生物多樣性、生態系統的產品和服務(如水和糧食供應)產生顯著的不利後果。
- IPCC指出：如果全球平均溫度比1980到1999年平均值增幅超過1.5 - 2.5°C，目前所評估的20% - 30%的動植物物種可能面臨增大的滅絕風險；如果平均溫度升高超過約3.5°C，可能會出現全球大量物種滅絕(佔所評估物種的40%-70%)，並造成不可逆轉的影響。

糧食

- 氣候變遷穀倉地帶可能北移，有些地方會得到好處；
- 在中高緯地區，如果局部平均溫度增加1 - 3°C，並採取改變品種和種植時間的適應措施，農作物生產力預估會略有提高，如果升溫超過這一幅度，農作物生產力則會降低。
- 在低緯度地區，特別是季節性乾燥的區域和熱帶區域，即使局部溫度只有小幅增加，農作物生產力也會降低，這會增大饑荒風險。
- 由於持續變暖，魚類物種的分佈和產量預計會發生區域性變化，會對水產業和漁業產生不利影響。

工業、人居環境和社會

- 氣候變化給工業、人居環境和社會帶來的損失和效益，會因地點和規模的不同存在很大差異。
- 總體而言，氣候變化愈劇烈，淨影響愈趨向於負面。
- 最脆弱的工業、人居環境和社會包括：海岸帶和洪水平原地區、經濟發展與氣候敏感性資源（如水資源和糧食等）關係密切的地區、極端天氣事件易發的地區。
- 在高風險區域的貧窮社區，他們的適應能力有限，更加依賴於氣候敏感性資源，將會受到嚴重的衝擊。

健康

- 氣候變化可能會影響幾百萬人口的健康狀況。
- 可能的影響包括：
 - 營養不良及營養失調，影響到兒童的生長、發育；
 - 由於熱浪、洪水、風暴、火災和乾旱導致的死亡、疾病和傷害會增加；
 - 腹瀉疾病的增加；
 - 由於與氣候變化相關的地面臭氧濃度增高，心肺疾病的發病率上升；
 - 某些傳染病傳播媒介的空間分佈發生改變。
- 氣候變化會帶來某些效益，由寒冷所造成的死亡會減少。
- 然而，這些效益預計將會被全球暖化對健康帶來的負面影響所抵消，特別是在發展中國家。

意想不到的變化

- IPCC報告指出：人類活動造成的氣候變暖可能導致“突變(abrupt)或不可逆轉的(irreversible)”影響。
- 科學家們警告，氣候變化並非全球漸漸變暖的一個線性過程，而是包含了許多複雜的、非線性的作用，穩定的氣候環境可能在很短的時間(幾十年)突然轉變為完全不同的另一種氣候環境，這種變化稱為氣候突變或快速氣候變化。
- 有些科學家認為許多原因會造成氣候突變，例如：冰川的快速消融、多年凍土層的大規模融化，並因土壤呼吸作用釋出甲烷，會加速暖化過程，可能導致氣候突變。
- 溫鹽循環(thermohaline circulation)停止，也可能導致氣候突變。

我們要怎麼辦？

因應氣候變遷的對策

- 因應氣候變遷我們可採行的對策包括減緩(mitigation)和調適(或稱適應, adaptation)兩大類。
- 減緩就是減少溫室氣體和其他可能增溫的強迫, 以穩定或降低全球暖化, 這是應對氣候變遷最基本而且必要的方法。
- 調適則希望以符合成本效益的方法, 減少目前及未來氣候變化所產生的風險和損害, 或發掘潛在益處。簡單的講, 調適的目的就是適應暖化, 和暖化共存。
- 以目前的情況看來, 減緩和調適都是不可缺少的。即使我們採行最嚴格的減緩努力, 都無法避免氣候在未來幾十年的進一步變化, 所以調適是必要的。另一方面, 未減緩的氣候變化可能超過自然系統和人類系統的適應能力, 所以僅依靠適應最終會導致無法有效地適應氣候變化的幅度, 或付出高昂的社會、環境和經濟成本。氣候減緩可以緩和氣候適應的緊迫性, 以及削減氣候適應的成本。適應和減緩可以互為補充, 而且兩者共同作用, 可以大量減少人為活動對氣候變化的影響。

氣候變遷減緩

要實現氣候變化減緩我們可採用的方法包括：

- 改變目前的生活方式
- 改善現有的技術和研發新的技術
 - 提高能源使用效率
 - 開發低碳能源
 - 排放後再從大氣中降低CO₂的濃度
- 實施新的政策等。

Ecological footprints

Ecological footprints measure the resources used to support our lifestyle and compare our resource use to what is sustainable, considering the carrying capacity of the planet. This method uses land as a measure needed to support lifestyle. A sustainable lifestyle would mean each person on Earth using about 1.8 global hectares.

At present, our lifestyles are not sustainable. In 2010 alone, on average, we were each using 2.7 global hectares. This is a global average, though, and it is not the same for all countries.

In Numbers
Global footprint of selected nations

	Global hectares per person
South Africa	2.3
Democratic Republic of Congo	0.8
Japan	4.7
India	0.9
Denmark	8.3
Romania	2.7
Uruguay	5.1
Haiti	0.7
United States	8.0
Mexico	3.0
United Arab Emirates	10.7
Yemen	0.9

(Footprint for nations, Global Footprint Network)

Carbon footprints

Carbon footprints show our impact on global warming by calculating the greenhouse gases (GHGs) that our lifestyle produces in a year, measured as tons of carbon dioxide equivalents (CO₂e). There are many online carbon calculators, each designed for a specific type of person in a specific type of climate and lifestyle. The Best Foot Forward ecological footprint calculator allows you to play with the settings to quickly see how your lifestyle has an impact on your ecological and carbon footprints.

In Numbers
Carbon footprints (tons CO₂ per person)

United States	20.6
United Kingdom	9.8
China	3.8
India	1.2
Bangladesh	0.3

(Human Development Report UNDP, 2007)

Taiwan -- 11.53 tons CO₂e per person (2008)

The Stern Review on the economics of climate change claims 5 gigatons of CO₂e can be sustainably absorbed by the planet each year. Given the present population of 6.6 billion people, that means **our fair share is about 750kg of emissions each, per year**. The global average, however, is currently 2 tons per person per year, more than double the fair share.

提高能源使用效率

- 提高能源使用效率是所有減碳方案中最有效的方法。
- 在住宅、商業、工業、能源、運輸等各部門都有許多提升能源使用效率的新技術，但必須先克服一些市場障礙，才能推廣使用。
- 過去許多人因為缺乏相關訊息，不知如何選擇節能產品，影響新技術的推廣，為克服此種障礙，目前經濟部能委會推動『節能標章』的認證，消費者可據此購買節能產品。
- 建築物使用大量能源，包括：照明、冷氣、家電設備、爐具等，如都採用高能源效率的產品，一定可以達到節能減碳的效果。

開發低碳能源

- 我們需要開發技術，尋找化石能源的替代品。
- 核能發電在發電過程中不會排放二氧化碳，因此得到一些人的支持，然而核子事故會產生巨大的傷害與損失，而且目前還沒解決如何儲存越來越多的放射性廢物，在很多國家建設新的核能電廠仍不能被廣大居民所接受。
- 其他的替代能源包括：風能、水力發電、地熱、海洋(潮汐能或海浪發電)、太陽能(光伏)、太陽能(光熱)、生物燃料(乙醇和生物柴油)、木材等。這些乾淨能源在使用上還有一些限制和不利的條件，尤其是價格過高，缺乏競爭力，須要其他政策配合才能提高使用誘因。

碳匯與碳捕獲

- 碳匯(carbon sink): 可以移除溫室氣體的任何過程、活動或者機制。
- 自然的二氧化碳碳匯有森林、土壤和海洋。目前也在研究運用現代科技，從大氣中移除並儲存二氧化碳。
- 森林的碳捕獲作用是人類最有可能在近期管理利用的方法。森林生物群可以幾十年甚至幾個世紀持續吸收碳，藉由造林和避免毀林都可提高生物碳捕獲。
- 碳捕獲與儲存(carbon capture and storage, CCS)，此種方法將CO₂從工業或能源排放源分離出來，運送到一個封存地點，並且長期與大氣隔絕。可能的封存地點含深層地下含水層、開採中氣/油田或煤床、枯竭之氣/油田、深海層等。CCS在捕集和運輸的過程中都須使用能源，目前運作的成本很高，可能影響其使用。

氣候調適

- 調適的主要目的是為了因應不可避免的氣候變遷衝擊，調適行動的例子包括：更有效地利用稀缺的水資源，使現有建築規範能夠適應並承受未來氣候條件或極端天氣，修築防洪牆並加高防洪堤壩以防範海平面上升，發展抗旱糧食作物，選擇抗風暴和抗火災的森林品種等。
- 某一地區所受衝擊的程度與該地的脆弱性(Vulnerability)有極大的相關性。脆弱性為事物在災害中主動或被動受到損失的嚴重程度。
- 脆弱性與兩個參數有關，即：曝露(exposure)於災害的程度與調適能力(adaptive capacity)。
- 台灣容易曝露在颱風、洪水、乾旱所引發的風險中，先天上就有自然的脆弱性，而且台灣城市的人口呈現高度的集中，對於氣候變遷的衝擊危害相對缺乏避災、減災的空間，所以在社會與經濟上的脆弱性也極高。

政策和手段(一)

有許多國家政策和手段可供政府作為誘因，以鼓勵各種減緩和調適行動，可行的方法包括：

訂定排放標準：此種方法實施較為簡單，但並非最經濟，也無法產生盡量減少排放的誘因。

稅(tax)或費(fee)：政府可徵收碳稅來降低溫室氣體排放，這方法實施技術較為簡單，但不保證能將排放量減至某個目標值，而且費率的決定非常困難，往往受政治因素左右，費率太高可能影響投資意願或造成產業外移，太低則不易收效。

可交易的許可制度：目前以排放總量與交易(cap and trade)制度最受矚目，此一制度先擬定目標，決定一個逐漸降低的總排放量，然後將排放許可分配給各排放源，如果某排放源實際排放量比其所分配的排放許可還低，可將多餘的排放權透過公開交易售給需要的排放源，相反地，如果某排放源排放量超過其許可，則必須購買不足的排放權。此種方法符合市場機制，能用最經濟的手段達到減量目標，而且可控制總排放量；但要有一套公平的分配方法和排放量查核機制，而且交易市場必須足夠大，否則容易產生碳價波動。

政策和手段(二)

財政誘因(補貼和稅收減免)：例如對風力或太陽能發電、電動汽車等進行補貼，此種方法可用來激勵新技術的開發和推廣。雖然所須費用可能比其他方法高，但是這種激勵政策通常對於克服各種市場障礙至關重要。

資訊手段：通過宣傳活動或環保標章、節能標章等，促使民眾做出有資訊依據的選擇，並透過行為的轉變，對環境品質產生積極的影響。

這些政策和手段的適用性取決於各國的環境，不同的方法各有利弊。在選擇政策和行政手段時要考慮下列因素：環境成效、成本效益、分配效果(包括公平性)和體制上的可行性。

地球工程(geoengineering)

- 一些科學家認為如果應對氣候變遷的策略無法有效地實施或未來地球環境發生不可逆轉的惡化時，地球工程或將成為抑制全球暖化的最後一道防線
- 地球工程就是利用現代科技大規模地影響地球環境與氣候的工程學，可以考慮運用的地球工程策略五花八門，包括：
 - 把數兆個遮光碟片射入太空，在地球運行軌道上空架設遮陽傘，減少輻射到地球的光線。
 - 利用飛機或氣球把二氧化硫投射到平流層，產生硫酸鹽氣膠，造成如火山爆發般的效果，藉以反射陽光，遮蔽地球。
 - 噴灑極細的海水水霧，形成低空雲層，含極細水滴的積雲比一般的雲層反射更多的光線。
 - 提高地表的反照率，可用的方法包括：白色的屋頂和道路、反照率高的作物等。
 - 對海洋施肥，把鐵或其他的養分加進海洋，促進海藻生長，捕捉二氧化碳，並讓死亡的藻類儲存在海底深處。
- 過去這些方法被認為是荒誕離奇，即使具備可操作性，也無可避免地充滿風險，未知的副作用可能造成極大的安全問題，但越來越多證據顯示氣候暖化的速度已遠遠超過人們想像，這些想法逐漸引起人們關注。

政府間氣候變遷委員會

(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)

IPCC由聯合國環境署(United Nations Environment Programme, UNEP)和世界氣象組織(WMO)於1988年共同創建，彙集了各國科學家和政府代表，評估由人類活動導致的氣候變遷帶來的風險。委員會本身並不進行研究工作，也不對氣候資料進行監測。其主要工作是評估科技、社會和經濟領域與氣候變遷相關的最新論文，並提出報告。2007年11月，政府間氣候變化專門委員會發佈了第四份評估報告(Assessment Report, AR4)。因其20多年來在氣候變遷方面的工作，IPCC成為2007年諾貝爾和平獎共同獲得者之一。

聯合國氣候變化框架公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)

1992年5月9日，各國達成了「聯合國氣候變化框架公約」，並於1994年3月21日起生效。雖然各國都通過了這項公約，但是政府機構意識到，僅靠這公約條款來解決氣候變化問題是遠遠不夠的。1995年初，首次締約方會議(COP1)在德國柏林舉行，會議開展了新一輪會談，商討出更詳細、更堅決的承諾。

京都議定書 (Kyoto protocol)

1997年12月在日本通過「京都議定書」(Kyoto protocol)，為36個工業化國家(通常稱為附件一國家)設定了減少排放量的目標，並提供三種碳市場(carbon market)機制讓附件一國家能以較低的費用達成減量目標。

京都議定書於2004年11月28日正式生效，希望讓世界上幾個工業化國家穩定或減少溫室氣體的排放。然而，京都議定書規定的減少排放目標只適用於工業化國家，但美國從未批准京都議定書，因此，對於世界上兩個最大的溫室氣體排放國，中國和美國，並無強制其減少排放的法律義務。

哥本哈根聯合國氣候變遷大會 (UNFCCC COP 14)

2009年12月來自192個國家的官員在丹麥哥本哈根舉行聯合國氣候變遷大會，希望能達成一個新的氣候變遷協議以取代即將在2012年到期的京都議定書。雖然已有兩年的緊張談判和世界領導人的全面介入，但在哥本哈根達成的協定並不漂亮，哥本哈根協議沒有要求各國行動，而是使各國承諾達到自己所規定的目標。各國第一次同意將全球氣溫上升限制在2°C以下，並保證作出籌資努力，以阻止毀林和森林退化，並支持適應氣候變遷的努力。

結語（台灣的應對）

根據「國際能源總署」(International Energy Agency, IEA)於2010年公佈的「世界主要能源統計」顯示，台灣2008年能源使用的二氧化碳排放總量達264.29百萬公噸，佔全球排放總量的0.9%，居全球排名第22位；此外，台灣每人平均排放量為11.53公噸，居全球排名第17位。台灣雖囿於國際情勢，無法參與UNFCCC及其相關機制，但政府也已設定減量目標，目前環保署希望在2016到2020年間排放量回歸2008年水準，2025年排放量回歸2000年水準，2050年排放量則要減到2000年的一半。

工業是台灣經濟發展的引擎，但卻使用大量能源，未來國際減碳的壓力會更大，除了提高能源使用效率外，可能也需調整能源使用結構及產業政策，減少高污染與高耗能產業，如此不但可善盡保護地球之責任，還能避免國際制裁，提升國家競爭力。工商業和一般民眾也應積極推動節能減碳工作，在產業、運輸、住宅以及生活等各層面採取具體行動，有系統地邁向低碳社會。此外，我們也應努力發展綠色經濟，特別是兼顧能源安全、潔淨低碳與可大幅增進就業機會的綠能產業。

Useful Links

政府間氣候變化專門委員會(IPCC) : <http://www.ipcc.ch/>
聯合國氣候變化框架公約(UNFCCC): <http://unfccc.int/2860.php>
聯合國環境規劃署(UNEP) <http://www.unep.org/>
世界氣象組織(WMO) : http://www.wmo.int/pages/index_en.html

美國航空太空總署(NASA) Climate : <http://climate.nasa.gov/>
美國國家海洋與大氣管理局(NOAA) Climate Service : <http://www.climate.gov/>
美國環境保護署(EPA) Climate change: <http://www.epa.gov/climatechange/>
美國全球變遷研究計畫 (USGCRP): <http://www.globalchange.gov/>
美國國家科學院 Climate change: <http://dels-old.nas.edu/climatechange/>
National Academies Press: <http://www.nap.edu/>

環保署台灣氣候變遷調適資訊平台: <http://climate.cier.edu.tw/index.asp>
科學發展 :
http://ejournal.stpi.narl.org.tw/NSC_INDEX/Journal/EJ0001/index.html

一、解釋名詞：

1. 溫鹽循環
2. 海洋酸化
3. 氣膠
4. 減緩
5. 調適
6. 碳匯
7. 碳捕獲
8. 碳捕獲與儲存

二、簡答題與申論題：

1. 全球變遷，真有其事？科學家發現全球氣候變遷之證據有哪三項？
2. 為什麼氣候會變化？造成氣候變遷之原因可分為「自然因素」與「人為活動」兩大類，請分別說明包括哪些項目。
3. 平流層的臭氧可阻擋有害的紫外線，保護地球上的生物，是好的臭氧。對流層(地面附近)的臭氧是光化學煙霧的重要成份，是壞的臭氧。
4. 全球暖化產生後，會引發氣候系統一連串的后續作用，這就是所謂的回饋，氣候變遷的回饋會朝兩個方向運作，正回饋讓暖化更加強，負回饋則降低暖化。
5. 因應氣候變遷我們可採行的對策有哪兩大類？並請分別說明之。
6. 要實現氣候變化減緩我們可採用的方法有哪些？
7. 有許多國家政策和手段可供政府作為誘因，以鼓勵各種減緩和調適行動，可行的方法包括哪幾大類？並請分別說明之。